

DE 00/3342

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

EJU



REC'D 08 JAN 2001

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 199 53 895.6

Anmeldetag: 10. November 1999

Anmelder/Inhaber: ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Korrelation von zeitdiskreten
Signalabschnitten

IPC: H 04 L, H 04 Q, H 03 H

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. Oktober 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Verfahren zur Korrelation von zeitdiskreten Signalabschnit-
5 ten

STAND DER TECHNIK

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korre-
lation von zeitdiskreten Signalabschnitten, wobei ein vor-
bestimmter Signalabschnitt in einem Signal durch die Korre-
lation ermittelt wird, insbesondere für ein Signalübertra-
gungssystem, wobei das Signal mit dem bekannten Signalab-
schnitt von einem Sender zu einem Empfänger gesendet wird
15 und die Lage des bekannten Signalabschnitts im Signal im
Empfänger durch die Korrelation zwischen dem empfangenen
Signal und dem bekannten Signalabschnitt ermittelt wird.

Obwohl auf beliebige digitale Nachrichtenübertragungssyste-
20 me anwendbar, werden die vorliegende Erfindung sowie die
ihr zugrundeliegende Problematik in bezug auf UMTS (Univer-
sal Mobile Telephone Systems)-Systeme erläutert.

Zur Detektion eines bekannten Signalabschnitts (im folgen-
den auch Testsignal genannt) in einem Empfangssignal wird
25 üblicherweise im Empfänger die Korrelation des bekannten
und dort gespeicherten Testsignals mit dem Empfangssignal
durchgeführt.

Diese Lageermittlung des Testsignals dient z.B. zur Ermittlung des Anfangszeitpunktes des Testsignals innerhalb des Empfangssignals, d.h. zu Synchronisationszwecken.

- 5 Von besonderem Interesse sind hierbei Testsignale, die gute Autokorrelationseigenschaften haben, welche sich durch einen hohen Autokorrelationskoeffizienten bei der relativen Zeitverschiebung Null und außerdem durch niedrige Werte für die Autokorrelation zu Zeitverschiebungen ungleich Null auszeichnen.

Darüberhinaus sollten diese Testsignale einen systematischen Aufbau haben, der es ermöglicht die nötigen Korrelationen mit möglichst wenig Rechenoperationen durchzuführen.

- 15 Eine besondere Klasse von zeitdiskreten Testsignalen in diesem Sinne bilden sogenannte hierarchische Codes oder Sequenzen.

- 20 Eine hierarchische Sequenz $h(k)$ n -ter Ordnung wird aus n nicht notwendig verschiedenen kurzen Sequenzen

$$\underline{h}_1 = (h_1(0), h_1(1), \dots, h_1(m_1 - 1)), \quad \underline{h}_2 = (h_2(0), h_2(1), \dots, h_2(m_2 - 1)), \\ \dots, \quad \underline{h}_n = (h_n(0), h_n(1), \dots, h_n(m_n - 1))$$

- 25 mit Elementen $h_i(k) \in \{-1, +1\}$ systematisch gemäß dem folgenden Konstruktionsschema aufgebaut:

$$x_1(k) = h_1(k), \quad k = 0, \dots, m_1 - 1, \quad (1)$$

$$x_{i+1}(k) = h_{i+1}(k \operatorname{div} m_{i+1}) \cdot x_i(k \operatorname{mod} m_i),$$

$$k = 0, \dots, \left(\prod_{l=1}^{i+1} m_l \right) - 1, \quad i = 1, \dots, n-1 \quad (2)$$

$$h(k) = x_n(k), \quad k = 0, \dots, \left(\prod_{l=1}^n m_l \right) - 1. \quad (3)$$

Der Aufwand für die Korrelation einer solchen hierarchischen Sequenz mit einem anderen Signal bzw. einer anderen Sequenz, läßt sich bekanntermaßen durch eine schnelle Korrelation in mehreren Stufen, im Vergleich zu einer direkten Realisierung, erheblich reduzieren. Zudem lassen sich hierarchische Sequenzen finden, die gute Korrelationseigenschaften haben und sich somit gut im eingangs erwähnten Sinne als Testsignale zur Synchronisation eignen.

Das erwähnte Verfahren zur aufwandseffizienten schnellen hierarchischen Korrelation soll im folgenden weiter erläutert werden, da das später beschriebene erfindungsgemäße Verfahren hierauf aufbaut. Das empfangene Signal mit dem das Testsignal im Empfänger korreliert werden soll, werde mit $s(k)$ bezeichnet. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit genügt es, hierarchische Sequenzen 2. Ordnung (d.h. $n=2$) zu betrachten, denn hierarchische Sequenzen mit mehr als zwei Hierarchiestufen werden gemäß den obigen Gleichungen sukzessive jeweils aus zwei Teilsequenzen aufgebaut. Die Korrelation soll für jeden Zeitpunkt k durchgeführt werden.

Für das Korrelationsergebnis $v(k)$ ergibt sich dabei:

$$v(k) = \sum_{j=0}^{n-1} h(j) \cdot s(j+k) = \sum_{j=0}^{n-1} h_2(j \operatorname{div} m_2) \cdot h_1(j \operatorname{mod} m_1) \cdot s(k+j) \quad (4)$$

$$= \sum_{i=0}^{n_2-1} h_2(i) \cdot \underbrace{\sum_{j=0}^{n_1-1} h_1(j) \cdot s(k+i \cdot n_1 + j)}_{v_1(k+i \cdot n_1) :=} = \sum_{i=0}^{n_2-1} h_2(i) \cdot \sum_{j=0}^{n_1-1} v_1(k+i \cdot n_1) \quad (5)$$

- 5 Fig. 2 illustriert den bekannten hierarchischen Korrelationsvorgang am Beispiel einer hierarchischen Sequenz 2. Ordnung, wobei die Rechenschritte durch Striche veranschaulicht sind.
- 10 Die kurzen Teilsequenzen seien durch $\underline{h}_1 = (+1, +1, -1, +1)$ und $\underline{h}_2 = (+1, -1, +1, +1)$ gegeben. Die Gesamtsequenz lautet damit $\underline{h} = (+1, +1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, +1)$. Im ersten Schritt bzw. der ersten Teilkorrelationsstufe TK1 wird die Teilkorrelation $v_1(k)$ ermittelt. Im zweiten Schritt bzw. der zweiten Teilkorrelationsstufe TK2 wird aus diesem Zwischenergebnis die gesuchte Korrelation $v(k)$ bestimmt. Dabei kann mit fortschreitender Zeit k , wie in Fig. 2 durch die fetten Linien angedeutet, jeweils auf drei bekannte Ergebnisse zurückgegriffen werden und es muß nur eine Neuberechnung in
- 20 der Teilkorrelationsstufe TK1 durchgeführt werden, nämlich

für die jüngsten durch die Abtastung erhaltenen Signalwerte des Signals $s(k)$.

Für $n > 2$ Teilsequenzen ergeben sich entsprechend weitere
5 Korrelationsstufen nach dem gleichen Grundprinzip.

Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Problematik besteht allgemein darin, daß das bekannte Verfahren auf nicht hierarchische Sequenzen erweitert werden soll, ohne daß der Rechenaufwand für die Korrelation zu groß wird.

VORTEILE DER ERFINDUNG

Die der vorliegenden Erfindung gemäß Anspruch 1 zugrunde-
15 liegende Idee besteht darin, daß es den bekannten schnellen mehrstufigen Korrelationsvorgang für hierarchische Sequenzen auf gestört hierarchische Sequenzen erweitert.

Als gestört hierarchische Sequenz \tilde{h} soll eine Sequenz be-
20 zeichnet werden, deren Aufbau nicht unmittelbar durch die Zerlegung in geeignete Teilsequenzen möglich ist, es sich aber eine hierarchische Sequenzen h finden läßt, die der Sequenz sehr ähnlich ist. Der Unterschied zwischen h und \tilde{h} wird durch eine weitere, im folgenden als Fehlersequenz h_e
25 bezeichnete, Sequenz beschrieben. Die Zerlegung von \tilde{h} in h und h_e sollte so gewählt werden, daß die nötige Anzahl von

Rechenoperationen für die Korrelation insgesamt möglichst stark reduziert wird.

5 Beim erfindungsgemäßen Verfahren werden also zur Berechnung der Korrelation $v(k)$ neben einer hierarchischen Korrelation noch Korrekturausdrücke berücksichtigt. Deshalb soll das erfindungsgemäße Verfahren als „korrigierte hierarchische Korrelation“ bezeichnet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren der korrigierten hierarchischen Korrelation ist auf Sequenzen anwendbar, die sich selbst nicht direkt hierarchisch zerlegen lassen, für die sich aber eine geeignete Darstellung als Summe einer hierarchischen Sequenz und einer Fehlersequenz finden läßt.

15

Die weiter unten im Ausführungsbeispiel vorgestellte Sequenz ist als Teilsequenz zur Erzeugung einer hierarchischen Sequenz für das Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) zu Synchronisationszwecken anwendbar. Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt nun die weitere Zerlegung dieser Teilsequenz gemäß einer korrigiert hierarchischen Struktur, so daß der nötige Rechenaufwand zur Bestimmung der Korrelation um weitere ca. 40% gesenkt werden kann. Da der numerische Aufwand für die Synchronisation einer Mobilstation auf eine Basisstation insgesamt einen signifikanten Anteil der Basisbandrechenleistung in der Mobilstation ausmacht, ist das erfindungsgemäße Verfahren von großem Nutzen zur Reduzierung der erforderlichen Rechenleistung.

25

Eine reduzierte Rechenleistung in der Basisbandsignalverarbeitung bedeutet zum einen geringere Kosten für die Basisband-Hardware (geringere Taktrate, weniger Gatter etc.). Zum anderen führt eine geringere Rechenleistung i.a. auch zu einer verringerten Leistungsaufnahme der Basisband-Hardware, so daß insbesondere für Mobilstationen, welche mit Akkus betrieben werden, verlängerte Sprech- oder Stand-by Zeiten ermöglicht werden können.

In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in Anspruch 1 angegebenen Verfahrens.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist die gestört hierarchische Sequenz \tilde{h} folgendermaßen durch die hierarchische Sequenz h und die Fehlersequenz h_e darstellbar:

$$\tilde{h}(k) = h(k) + h_e(k), \quad k = 0, \dots, m-1 \quad (6)$$

wobei m eine natürliche Zahl ist und die Länge der Sequenzen \tilde{h} , h und h_e bezeichnet und wobei die Elemente der Sequenzen \tilde{h} und h aus dem Wertevorrat $\{-1, +1\}$ und die Elemente von h_e sind aus dem Wertevorrat $\{-2, 0, +2\}$ sind.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Korrelation $v(k)$ von \tilde{h} mit dem Signal $s(k)$ beschrieben durch:

$$v(k) = \sum_{j=0}^{m-1} \tilde{h}(j) \cdot s(k+j) = \sum_{j=0}^{m-1} [h(j) + h_e(j)] \cdot s(k+j) \quad (7)$$

$$= \underbrace{\sum_{j=0}^{m-1} h(j) \cdot s(k+j)}_{u(k) :=} + \underbrace{\sum_{j=0}^{m-1} h_e(j) \cdot s(k+j)}_{u_e(k) :=} \quad (8)$$

wobei $u(k)$ die Korrelation zwischen dem Signal $s(k)$ und der abgelegten hierarchischen Sequenz ist und $u_e(k)$ die Korrelation zwischen dem Signal $s(k)$ und der abgelegten Fehlersequenz ist.

Der erste Summand $u(k)$ läßt sich aufgrund der hierarchischen Konstruktion von \underline{h} direkt mit der schnellen hierarchischen Korrelation berechnen. Für den zweiten Summanden $u_e(k)$ hängt das weitere Vorgehen von der Struktur von \underline{h}_e ab.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Zerlegung in die Summe einer hierarchischen Sequenz und einer Fehlersequenz derart vorgenommen, daß die Fehlersequenz möglichst wenig von Null verschiedene Elemente enthält.

Zweckmäßig ist eine Zerlegung von \tilde{h} in \underline{h} und \underline{h}_e , derart, daß \underline{h}_e möglichst wenig von Null verschiedene Elemente enthält.

Für den Fall, daß \underline{h}_e z.B. nur ein einziges von Null verschiedenes Element, $h_e(K) = \beta$, enthält ($\beta \in \{-2, +2\}$), vereinfacht sich die Berechnung von $u_e(k)$ zu $u_e(k) = \beta \cdot s(k+K)$, so daß folgt:

5

$$v(k) = u(k) + \beta \cdot s(k+K) \quad (9)$$

Bei mehr als einem von Null verschiedenen Element sind entsprechend mehr Korrekturterme zu berücksichtigen. Im allgemeinen Fall kann zur Berechnung des Ausdruckes $u_e(k)$ auch wieder ein Verfahren zur Berechnung von Korrelationsausdrücken verwendet werden.

10

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird das Verfahren in einem mobilen Telefonsystem angewendet.

15

ZEICHNUNGEN

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 einen gestörten hierarchischen Korrelationsvorgang mit einer hierarchischen Sequenz 2. Ordnung

25

und einer einfachen Fehlersequenz als Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

5 Fig. 2 den bekannten hierarchischen Korrelationsvorgang am Beispiel einer hierarchischen Sequenz 2. Ordnung.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

10 Im folgenden wird mit Bezug auf Fig. 1 eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechend einem gestörten hierarchischen Korrelationsvorgang mit einer hierarchischen Sequenz 2. Ordnung und einer einfachen Fehlersequenz erläutert.

15

Die im Ausführungsbeispiel vorgestellte Sequenz ist als Teilsequenz zur Erzeugung einer hierarchischen Sequenz für das Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) zu Synchronisationszwecken vorgeschlagen worden.

20

Betrachtet wird die folgende Lindner-Sequenz (vgl. auch H.D. Lüke, *Korrelationssignale*, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1992):

25 $\tilde{h} = (+1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, +1),$

die sich offensichtlich nicht direkt in geeignete hierarchische Teilsequenzen zerlegen läßt, um die bekannte auf-

wandsgünstige hierarchische Korrelation anwenden zu können. Alternativ kann sie jedoch durch eine hierarchische Sequenz und eine Fehlersequenz gemäß

$$\tilde{h}(k) = h(k) + h_e(k), \quad k = 0, \dots, m-1 \quad (10)$$

- 5 mit $\underline{h} = (+1, +1, -1, +1, -1, -1, +1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, +1)$ und
 $\underline{h}_e = (0, 0, 0, -2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$

dargestellt werden.

- 10 Eine hierarchische Zerlegung von \underline{h} ist durch die Teilsequenzen $\underline{h}_1 = (+1, +1, -1, +1)$ und $\underline{h}_2 = (+1, -1, +1, +1)$ gegeben.

Der Korrelationsvorgang insgesamt kann damit vorteilhafterweise mit dem erfindungsgemäßen Verfahren mit Hilfe der

- 15 korrigierten hierarchischen Korrelation erfolgen.

Fig. 1 illustriert diesen Vorgang. Zusätzlich zu der aus Fig. 2 bekannten Struktur der hierarchischen Korrelation sind Verbindungen vom Empfangssignal $s(k)$ zum Ergebnis der zweiten Teilkorrelationsstufe TK2 zu sehen, welche die Korrekturterme in Form von mit -2 gewichteten Werten des Eingangssignals repräsentieren.

- 25 Nachstehend erfolgt eine Betrachtung des Aufwands für die gesamte Korrelation. Eine direkte Realisierung der Korrelation der Sequenz \tilde{h} (der Länge m Elemente) mit einer i.a.

komplexwertigen Sequenz $s(k)$ benötigt für jeden zu ermittelnden Korrelationswert $v(k)$ eine Anzahl von m komplexen Additionen. Mit $m=16$ sind das in diesem Beispiel eben 16 komplexe Additionen.

5

Durch Aufteilung in die hierarchische Sequenz und die Fehlersequenz reduziert sich diese Anzahl signifikant. Für die hierarchische Korrelation werden in der ersten Stufe 4 und in der zweiten Stufe ebenfalls 4 komplexe Additionen pro Korrelationswert $v(k)$ benötigt. Hinzu kommt die Multiplikation des Wertes $s(k+3)$ mit dem Faktor -2 und die Addition dieses Korrekturwertes zum Ergebnis der hierarchischen Korrelation, wie Fig. 1 entnehmbar. Berücksichtigt man, daß die Multiplikation mit 2 einer Bitverschiebung um eine

15 Stelle entspricht und somit einen vernachlässigbar geringen Rechenaufwand gegenüber einer „echten“ Multiplikation erfordert, verbleibt merklich nur die eine zusätzliche komplexe Addition um den Korrekturwert in das Korrelationsergebnis einzubeziehen. Der gesamte Korrelationsvorgang benötigt mit Hilfe der korrigierten hierarchischen Korrelation
20 somit 9 komplexe Additionen pro Korrelationswert $v(k)$ gegenüber den oben erwähnten 16 komplexen Additionen bei direkter Realisierung der Korrelation. Dies bedeutet eine Ersparnis von gut 40%.

25

Das vorgestellte Verfahren hat eine sehr hohe Aktualität mit Hinblick auf die gegenwärtigen, weltweiten, intensiven Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten aller Hersteller

von Mobilfunkgeräten im Zusammenhang von Mobilfunksystemen der dritten Generation (UMTS usw.).

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand eines
5 bevorzugten Ausführungsbeispiels beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

Insbesondere ist die Erfindung nicht auf UMTS (Universal Mobile Telephone Systems)-Systeme beschränkt, sondern auf beliebige digitale zeitdiskrete Signalverarbeitungssysteme anwendbar.

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Verfahren zur Korrelation von zeitdiskreten Signalabschnit-
5 ten

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Korrelation von zeitdiskreten Signalab-
schnitten, wobei ein vorbestimmter Signalabschnitt in einem
Signal durch die Korrelation ermittelt wird, insbesondere
für ein Signalübertragungssystem, wobei das Signal mit dem
bekannten Signalabschnitt von einem Sender zu einem Empfän-
ger gesendet wird und die Lage des bekannten Signalab-
15 schnitts im Signal im Empfänger durch die Korrelation zw-
ischen dem empfangenen Signal und dem bekannten Signalab-
schnitt ermittelt wird,

dadurch g e k e n n z e i c h n e t , daß

20

der bekannte Signalabschnitt als gestört hierarchische Se-
quenz abgelegt wird, welche die Summe einer hierarchischen
Sequenz und einer Fehlersequenz ist; und

25 die Korrelation als Summe einer Korrelation zwischen dem
empfangenen Signal und der abgelegten hierarchischen Se-
quenz und einer Korrelation zwischen dem Signal und der ab-
gelegten Fehlersequenz gebildet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die gestört hierarchische Sequenz \tilde{h} folgendermaßen durch die hierarchische Sequenz h und die Fehlersequenz h_e darstellbar ist:

$$5 \quad \tilde{h}(k) = h(k) + h_e(k), \quad k = 0, \dots, m-1$$

wobei m eine natürliche Zahl ist und die Länge der Sequenzen \tilde{h} , h und h_e bezeichnet und wobei die Elemente der Sequenzen \tilde{h} und h aus dem Wertevorrat $\{-\alpha, +\alpha\}$ und die Elemente von h_e aus dem Wertevorrat $\{-2\alpha, 0, +2\alpha\}$ sind. α repräsentiert hierbei eine beliebige reelle oder komplexe Zahl.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrelation $v(k)$ von \tilde{h} mit dem Signal $s(k)$ beschrieben wird durch:

$$15 \quad v(k) = \sum_{j=0}^{m-1} \tilde{h}(j) \cdot s(k+j) = \sum_{j=0}^{m-1} [h(j) + h_e(j)] \cdot s(k+j)$$

$$= \underbrace{\sum_{j=0}^{m-1} h(j) \cdot s(k+j)}_{u(k) :=} + \underbrace{\sum_{j=0}^{m-1} h_e(j) \cdot s(k+j)}_{u_e(k) :=}$$

wobei $u(k)$ die Korrelation zwischen dem Signal $s(k)$ und der abgelegten hierarchischen Sequenz ist und $u_e(k)$ die Korre-

lation zwischen dem Signal $s(k)$ und der abgelegten Fehlersequenz ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zerlegung in die Summe einer hierarchischen Sequenz und einer Fehlersequenz derart vorgenommen wird, daß die Fehlersequenz möglichst wenig von Null verschiedene Elemente enthält.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es in einem mobilen Telefonsystem angewendet wird.

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Verfahren zur Korrelation von zeitdiskreten Signalabschnit-
5 ten

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung schafft ein Verfahren zur Korrelation von
zeitdiskreten Signalabschnitten, wobei ein vorbestimmter
Signalabschnitt in einem Signal durch die Korrelation er-
mittelt wird, insbesondere für ein Signalübertragungssys-
tem, wobei das Signal mit dem bekannten Signalabschnitt von
einem Sender zu einem Empfänger gesendet wird und die Lage
15 des bekannten Signalabschnitts im Signal im Empfänger durch
die Korrelation zwischen dem empfangenen Signal und dem be-
kannten Signalabschnitt ermittelt wird. Der bekannte Sig-
nalabschnitt wird im Empfänger als gestört hierarchische
Sequenz abgelegt, welche die Summe einer hierarchischen Se-
20 quenz und einer Fehlersequenz ist. Die Korrelation wird als
Summe einer Korrelation zwischen dem empfangenen Signal und
der abgelegten hierarchischen Sequenz und einer Korrelation
zwischen dem Signal und der abgelegten Fehlersequenz gebil-
det.

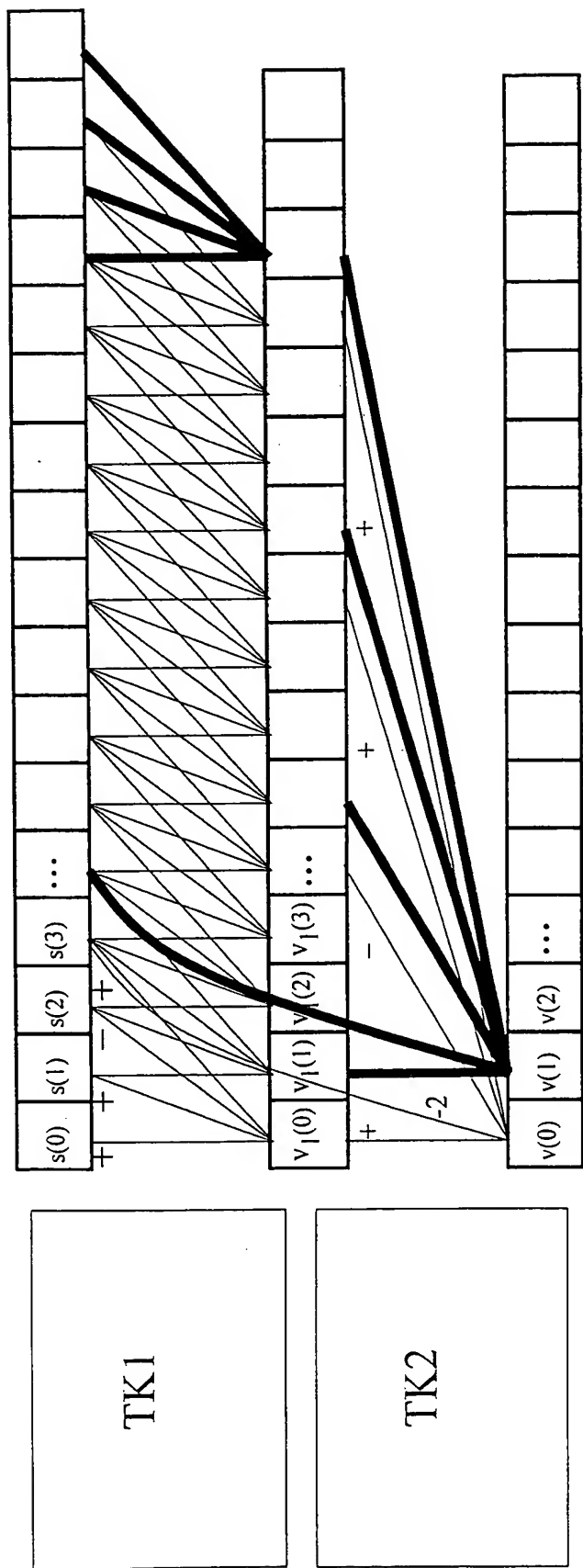


Fig. 1

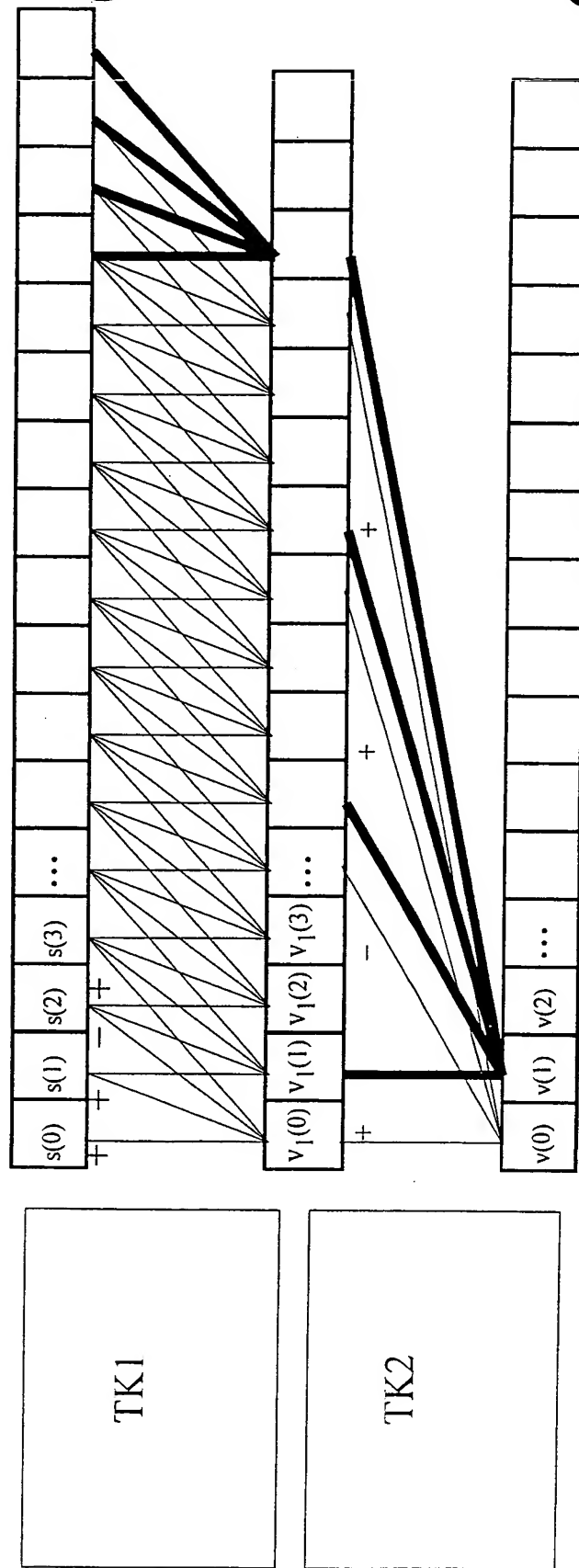


Fig. 2